

JP11-133253A

[Fig. 1]

- 2: input waveguide
- 3: slab waveguide on input waveguide part
- 4: array waveguide
- 5: slab waveguide on output waveguide part
- 6: output waveguide

[0029]

なお、本発明の2つの実施例においては、出力導波路(output waveguide)及びアレイ導波路(array waveguide)の出力側(output part)にモード安定化導波路(mode stabilizing waveguide)を配置したが、光の可逆性を考えれば、入力導波路2(input waveguide 2)と入力側スラブ導波路(slab waveguide on input waveguide part)との間、アレイ導波路(array waveguide)の入力側(input part)にも同様のモード安定化導波路(mode stabilizing waveguide)を配置すれば、その効果が倍増することは自明である。また、実施例1と実施例2を併用すれば、波長精度(wavelength accuracy)の向上とクロストーク(crosstalk)の低減の両方が同時に実現されることも自明である。

By the way, in two embodiments of the invention, the mode stabilizing waveguides are provided at the output waveguide and at output part of the array waveguide. In view of the fact that "ray reversibility", however, it is obvious that its effectiveness increases to twice by providing a mode stabilizing waveguide of the same sort between the input waveguide 2 and slab waveguide on input waveguide part, and/or input part of the array waveguide. In addition, it is also obvious that improvement of wavelength accuracy and reduction of crosstalk can be achieved simultaneously by using the first and second embodiments at the same time.

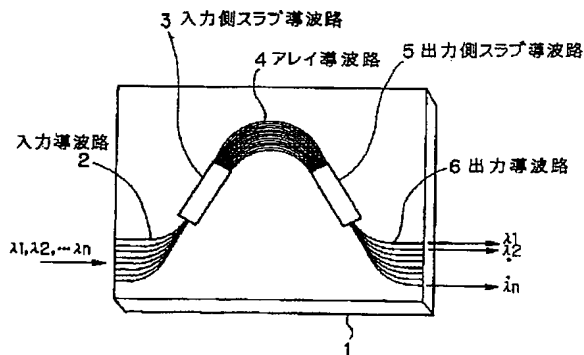
[Fig. 2]

- 7: taper waveguide

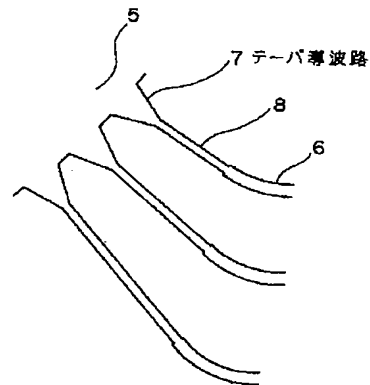
[Fig. 4]

- 9: taper waveguide
- 10: mode stabilizing waveguide

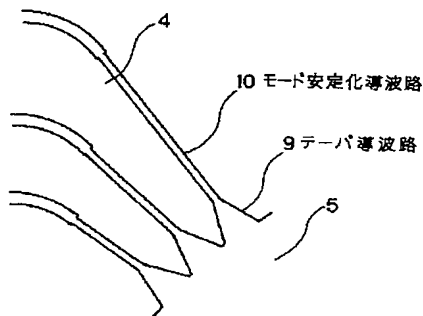
【図1】



【図2】



【図4】



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-133253

(43)Date of publication of application : 21.05.1999

(51)Int.Cl.

G02B 6/12

(21)Application number : 09-301468

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
<NTT>

(22)Date of filing : 04.11.1997

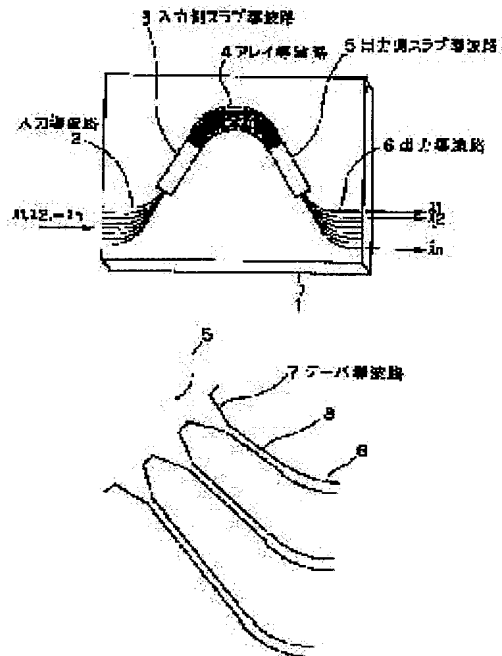
(72)Inventor : TAKAHASHI HIROSHI  
INOUE YASUYUKI

## (54) ARRAY WAVEGUIDE TYPE WAVELENGTH MULTIPLEXER/ DEMULTIPLEXER

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To attain an array waveguide type wavelength multiplexer/ demultiplexer capable of improving wavelength accuracy by suppressing a zigzag form and capable of reducing crosstalk to a low level.

**SOLUTION:** The multiplexer/demultiplexer is constituted of one or plural input waveguides 2, a 1st slab waveguide 3, an array waveguide 4 constituted of plural waveguides having respectively different lengths, a 2nd slab waveguide 5, and plural output waveguides 6 which are formed on a substrate 1 and an waveguide having multi-mode electric field distribution is used for a connection part between both the slave waveguides 3, 5. In this case, mode stabilizing waveguides 8 are inserted between the input waveguide 2 and the 1st slave waveguide 3 and between the output waveguide 6 and the 2nd slab waveguide 5.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 13.07.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 01.04.2003

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-133253

(43) 公開日 平成11年(1999) 5月21日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 2 B 6/12

識別記号

F I

G 0 2 B 6/12

F

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平9-301468

(22) 出願日 平成9年(1997)11月4日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72) 発明者 高橋 浩

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72) 発明者 井上 靖之

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

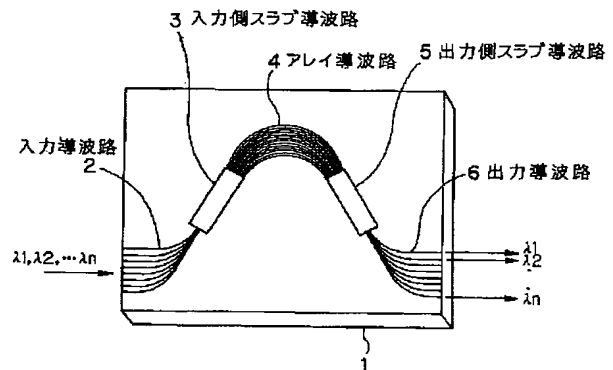
(74) 代理人 弁理士 光石 俊郎 (外2名)

(54) 【発明の名称】 アレイ導波路型波長合分波器

(57) 【要約】

【課題】 蛇行を抑制することにより、波長精度が高く、またクロストークの低いアレイ導波路型波長合分波器を実現することを目的とする。

【解決手段】 基板上1に作製された1つあるいは複数の入力導波路2、第1のスラブ導波路3、長さの異なる複数の導波路から構成されるアレイ導波路4、第2のスラブ導波路5、複数の出力導波路6から構成され、前記スラブ導波路3、5との接続部においてマルチモードの電界分布を有する導波路が用いられているアレイ導波路型波長合分波器において、前記入力導波路2と第1のスラブ導波路3、及び前記出力導波路6と第2のスラブ導波路5の間にモード安定化導波路8が挿入されていることを特徴とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に作製された1つあるいは複数の入力導波路、第1のスラブ導波路、長さの異なる複数の導波路から構成されるアレイ導波路、第2のスラブ導波路、1つあるいは複数の出力導波路から構成され、前記スラブ導波路との接続部においてマルチモードの電界分布を有する導波路が用いられているアレイ導波路型波長合分波器において、前記入力導波路と第1のスラブ導波路、及び前記出力導波路と第2のスラブ導波路の間にモード安定化導波路が挿入されていることを特徴とするアレイ導波路型波長合分波器。

【請求項2】 基板上に作製された1つあるいは複数の入力導波路、第1のスラブ導波路、長さの異なる複数の導波路から構成されるアレイ導波路、第2のスラブ導波路、1つあるいは複数の出力導波路から構成され、前記スラブ導波路との接続部においてマルチモードの電界分布を有する導波路が用いられているアレイ導波路型波長合分波器において、前記アレイ導波路群を構成する導波路端にモード安定化導波路が付加されていることを特徴とするアレイ導波路型波長合分波器。

【請求項3】 前記モード安定化導波路が、単一モード条件を満たすように導波路幅または導波路厚さ若しくは両方を小さくした直線導波路であることを特徴とする請求項1又は2記載のアレイ導波路型波長合分波器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、アレイ導波路型波長合分波器に関する。詳しくは、波長多量光通信あるいは光信号処理などの分野で用いられる導波路型集積光部品、特にアレイ導波路型波長合分波器の特性向上に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】波長の異なる複数の光信号を同時に伝送する波長多重光通信においては、波長の異なる光を合波あるいは分波する波長合分波器が重要なデバイスである。その中でも平面基板上の光導波路で構成されるアレイ導波路回折格子を用いた波長合分波器（以下、アレイ導波路型波長合分波器と略す）は、実用的なデバイスとして注目されている。

【0003】図1にアレイ導波路型波長合分波器の構成を示す。同図に示すように、基板1上で、入力導波路2、入力側スラブ導波路3、アレイ導波路4、出力側スラブ導波路5、出力導波路6が順に接続されている。光ファイバなどを通じて外部より入力導波路に入力された光は、入力側スラブ導波路3内で回折により広がりアレイ導波路4を構成する複数の導波路に入射する。

【0004】入力光はアレイ導波路4を伝搬したのち、出力側スラブ導波路5に達する。複数の導波路からの放射光はお互いに干渉し、出力側スラブ導波路5と出力導波路6の接続部付近に集光し、複数の出力導波路6の

いずれかに入射し、基板端へと導かれる。アレイ導波路4を構成する導波路間の長さの差により生じた位相差により集光する位置は波長によって異なるので、入力導波路から波長多重光を入力すると、結果的に、波長ごとに異なる出力導波路6から出力される（分波される）。

【0005】上記説明のように、アレイ導波路型波長合分波器は古くから知られた回折格子を用いた分光計と同様の動作を、平面基板上にフォトリソグラフィを用いて一括作製される光導波路を用いて実現するものであり、小型で、大量生産性に富み、波長多重通信の波長合分波器として有望視されている（特開平2-244105号公報）。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来のアレイ導波路型波長合分波器には各出力導波路6から出力される光の波長が設計値からずれるという問題点があった。以下、その詳細を図6に示す出力側スラブ導波路5と出力導波路6の接続部付近の拡大図を用いて説明する。

【0007】出力側スラブ導波路5と出力導波路6の間にはテーパー導波路7、直線導波路11が挿入されている。テーパー導波路7は受光帯域拡大のため、直線導波路は図1に示すような導波路配置にするための長さ調整の役割を持っている。

【0008】さて、先に説明したように、アレイ導波路4から放射された光12は出力側スラブ導波路5内で集光し、集光位置が波長とともに移動する。その移動量は波長変化量に比例し、単位波長変化当たりの移動量は線分散と呼ばれる。例えば、線分散が $20\mu\text{m}/1\text{nm}$ と仮定した場合、テーパー導波路7の間隔を $20\mu\text{m}$ とすれば、波長間隔が $1\text{nm}$ の波長合分波器を作製することができる。

【0009】ところが、我々は実験により、実際にはテーパー導波路7の出力端の中心にビームが集光する場合よりも、若干ずれたところで集光する場合の方が、出力導波路6への光の導波が良好な場合があることを見出した。これは、図中に示した導波光の伝搬軌跡13に示すように、テーパー導波路7、直線導波路11を蛇行して伝搬するほうが、曲がっている出力導波路6へ効率的に導かれるからである。

【0010】なお、光導波路の伝搬モード理論からするとここで示した伝搬軌跡13は的確な表現方法ではないが、現象を説明する都合上、理解しやすい表現なので、この方法を用いた。出力導波路6の配置上、蛇行が発生する直線導波路11の長さが異なるので、テーパー導波路7中心と伝搬光強度ピークのずれ（図中の $\delta x$ ）は一定でない。

【0011】ビーム伝搬法を用いて計算したところ、直線導波路11の長さにより、 $\delta x$ は $-0.7\mu\text{m}$ から $0.7\mu\text{m}$ 変動することが確認されている。この場合、

線分散から逆算すると、 $\pm 0.7 \mu\text{m}$ の位置ずれは $\pm 0.035 \text{ nm}$ の波長誤差となり、高い波長精度が要求される波長多重光通信では使用できない場合がある。

【0012】また、蛇行の影響はアレイ導波路4の出口付近でも現れる。アレイ導波路4を構成する個々の導波路と出力側スラブ導波路5の間には図6中のテーパー導波路7と同様の形状のテーパー導波路が、アレイ導波路4の回折効率を向上させるために用いられている。アレイ導波路4を構成する導波路を伝搬してきた光がテーパー導波路7内で蛇行し、光の強度ピークがテーパーの中心からずれる。

【0013】従って、アレイ導波路4から出力側スラブ導波路5に放射される光の間隔が本来等間隔であるべきところが、不等間隔になることになる。アレイ導波路4の分光原理は一般の回折格子と同様であり、不等間隔になると回折格子としての特性が劣化し、波長合分波器のクロストークを増加させる結果となる。

【0014】この蛇行現象はテーパー導波路7と出力導波路6の間にある直線導波路を0次モード以外のモードも伝搬することによって由来する。すなわち、0次モードとそれ以外のモードが伝搬するので、その干渉により等価的に強度ピークの軌跡が蛇行するのである。

【0015】0次モード以外のモードとしては、導波路が単一モード条件を満たしていない場合の高次モード（1次以上）、また、導波路が単一モード条件を満たしている場合においても、導波路コアにまわりつく様な形で、短い距離の間のみ部分的に存在できるモード（放射モードあるいはクラッドモードと呼ばれる）がある。

【0016】このような蛇行現象を抑制するには、スラブ導波路及びテーパー導波路7を除くすべての導波路を単一モード導波路とし、かつ、放射モードが0次モードから十分離れるようにテーパー導波路7と出力導波路6の間にある直線導波路を十分長くする方法が考えられる。しかし、単一モード導波路では導波路コアとクラッド境界における0次モードの電界が強いので、導波路コアの側壁の凸凹により生じる散乱損失が増加し、波長合分波器の挿入損失が増大する欠点がある。

【0017】以上、説明したように、従来のアレイ導波路型波長合分波器においては、テーパー導波路7での光の蛇行により、特性が劣化する問題点があった。本発明は、上記従来技術に鑑みてなされたものであり、蛇行を抑制することにより、波長精度が高く、またクロストークの低いアレイ導波路型波長合分波器を実現することを目的とする。

【0018】

【課題を解決するための手段】上記目的を実現するため、本発明は、テーパー導波路につづいてモード安定化領域を設けることを特徴とするものである。具体的には、幅の狭い直線導波路（以後、モード安定化導波路と呼ぶ）をテーパー導波路に接続するのである。

【0019】〔作用〕上述したモード安定化導波路では導波路幅が狭いため、高次モードは伝搬できず、また、放射モードも短距離で0次モードから分離するので、蛇行が抑制され前記テーパー導波路端における光の強度ピークがテーパー導波路の中心と一致する。

【0020】また、蛇行が発生する部分のみ導波路幅を狭くし、その他の導波路は従来と同様の太さとしているため、上述したコア側壁での散乱による挿入損失の増加は見られない。従って、本手段を用いることにより、上述の波長誤差がなくなり、またクロストークが低減され、実用性の高いアレイ導波路型波長合分波器を作製することが可能となる。

【0021】

【発明の実施の形態】以下、本発明について、図面に示す実施例を参照して詳細に説明する。

【実施例1】図1は第1及び第2の実施例に共通するアレイ導波路型波長合分波器の概略図である。図1に示すように、シリコン基板1上に、火炎加水分解堆積法及び反応性イオンエッチングにより形成された石英系ガラス導波路を用いて、導波路パターンを構成した。2は入力導波路、3は入力側スラブ導波路、4はアレイ導波路、5は出力側スラブ導波路、6は出力導波路である。

【0022】図に示すように、入力導波路2の内の1本から入力された波長多重光は、先に述べたアレイ導波路4の分光作用により、分波されて別々の出力導波路6から取り出される。導波路コアの厚さは $6 \mu\text{m}$ 、入力導波路2、アレイ導波路4、出力導波路6の幅は $7 \mu\text{m}$ とした。導波路コアとクラッドの屈折率の差は0.75%である。

【0023】この寸法では導波路はシングルモード条件を満たしていないが、これは先に述べたように、導波路の散乱損失を低減させるためである。図2は第1の実施例の特徴を説明するための、出力側スラブ導波路5と出力導波路6との接続部付近の拡大図である。線分散を $20 \mu\text{m}/1 \text{ nm}$ 、波長間隔を $1 \text{ nm}$ と設計しているので、テーパー導波路7の間隔は $20 \mu\text{m}$ である。テーパー導波路7と出力導波路6との間に、幅の狭いモード安定化導波路8が設けられている。

【0024】導波路幅は $4 \mu\text{m}$ であり、また、長さは $500 \mu\text{m}$ 程度とした。つまり、この部分のみシングルモード条件を満たし、また放射モードが分離するのに十分な長さを有している。また、良く知られているように曲線導波路においては、伝搬光の強度ピークが導波路の中心より $0.4 \mu\text{m}$ 程度外側にずれることから、その分を見込んで出力導波路6とモード安定化導波路8の中心を $0.4 \mu\text{m}$ ずらして、光がスムーズに接続部を通過するように配慮がなされている。

【0025】図3(a)に作製した波長合分波器の中の4つの出力導波路6から得られる光の透過率と波長の関係（スペクトル）を測定した結果を示す。設計では4つ

の透過波長を1551nm, 1552nm, 1553nm, 1554nmとしたが、設計通りの波長が得られている。図3(b)は、比較のため、同一の設計でモード安定化導波路8が無い従来の波長合分波器のスペクトルを測定した結果であり、出力導波路6の間隔が等間隔であるにも関わらず、波長間隔は等間隔でなく、設計値からもずれている。

【0026】両者を比較して明らかなように、蛇行を抑制することで、設計通りの出力波長が得られ、本発明の有効性を確認できた。

【実施例2】図4は第2の実施例の特徴を説明するための、アレイ導波路4と出力側スラブ導波路5の接続部付近の拡大図である。なお、波長合分波器全体の導波路レイアウト、導波路の寸法、作製法は第1の実施例と同様である。

【0027】テーバ導波路9の間隔は15μmである。テーバ導波路9と、アレイ導波路4を構成する導波路4の間にモード安定化導波路10が設けられている。第1の実施例と同様にモード安定化導波路10の幅は4μm、長さは500μm程度とした。図5に作製した波長合分波器の1つの出力導波路6から得られる光のスペクトルの測定結果を示す。

【0028】また、同グラフには、従来の波長合分波器のスペクトルも同時にプロットしてある。本実施例の波長合分波器ではクロストーク（透過波長での透過率に対する透過波長帯外での透過率の比）は-41dBであり、極めてクロストークの低い特性が得られている。これに対し、従来の波長合分波器ではクロストークは30dB程度であり、蛇行の影響により10dBも悪いことがわかる。この結果が示すように、アレイ導波路4出口付近での蛇行を抑制することによりクロストークを低減でき、本発明の有効性を確認できた。

【0029】なお、本発明の2つの実施例においては、出力導波路及びアレイ導波路の出力側にモード安定化導波路を配置したが、光の可逆性を考えれば、入力導波路2と入力側スラブ導波路との間、アレイ導波路の入力側にも同様のモード安定化導波路を配置すれば、その効果が倍増することは自明である。また、実施例1と実施例2を併用すれば、波長精度の向上とクロストークの低減の両方が同時に実現されることも自明である。

【0030】さらにつけ加えれば、導波路コア幅の狭い導波路としたが、導波路コアの高さを低くしても同様の結果が得られる。また、導波路材料として火炎加水分解堆積法により作製される石英系ガラス、基板としてシリコン基板を使用したか、本発明の主旨に従えば、別な材料を用いても同様の効果が得られることは明らかである。

【0031】なお、上記実施例ではスラブ導波路との接続部にテーバ導波路が用いられている場合について説明したが、本発明の基本概念からすれば、テーバ以外の形

状を有する導波路、例えば、パラボラ型導波路、マルチモード干渉型導波路、Y分岐型導波路など、スラブ導波路との接続部においてマルチモードの電界分布を有するあらゆる形状の導波路に対しても、同様の効果が得られるのは同然である。

【0032】

【発明の効果】以上、実施例に基づいて具体的に説明したように、本発明では、光が導波路を蛇行して伝搬する現象が波長合分波器の波長精度とクロストークを劣化させることを発見し、その対策として、蛇行を抑制するためのモード安定化導波路を配置することにより、波長精度が高く、またクロストークの低いアレイ導波路型波長合分波器を挿入損失の増加なく実現している。モード安定化の手段としては導波路幅を狭くするという極めて簡便な方法を用いており、これは導波路パターンを作製する際に使用するフォトリソの設計の段階での作業だけであり、本発明に従えば、製造コストの増加は全くなく高性能な波長合分波器を提供でき、波長多重通信及び光信号処理の分野において多大な効果が期待できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】アレイ導波路型波長合分波器の全体概略図である。

【図2】本発明の第1の実施例を説明するための、出力導波路と出力側スラブ導波路5との接続部付近の拡大図である。

【図3】図3(a)は本発明の第1の実施例である波長合分波器の透過率スペクトルを示すグラフ、図3(b)は従来の技術で設計された波長合分波器の透過率スペクトルを示すグラフである。

【図4】本発明の第2の実施例を説明するための、アレイ導波路と出力側スラブ導波路との接続部付近の拡大図である。

【図5】本発明の第2の実施例である波長合分波器及び従来の技術で設計された波長合分波器における1つの出力導波路に対する透過率スペクトルを示すグラフである。

【図6】従来の技術で設計された波長合分波器の出力側スラブ導波路と出力導波路の接続部付近の拡大図である。

【符号の説明】

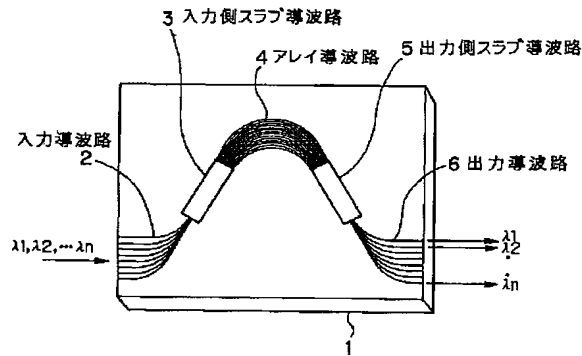
- 1 シリコン基板
- 2 入力導波路
- 3 入力側スラブ導波路
- 4 アレイ導波路
- 5 出力側スラブ導波路
- 6 出力導波路
- 7 テーバ導波路
- 8 モード安定化導波路
- 9 テーバ導波路
- 10 モード安定化導波路

\* 13 導波路内を伝搬する光の強度ピークの軌跡

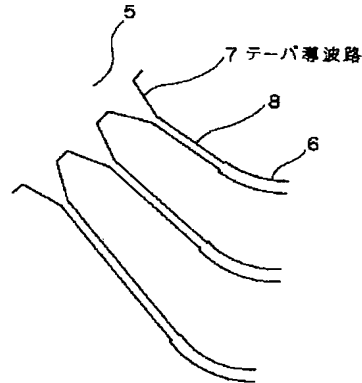
\*

- 11 直線導波路  
12 集光ビーム

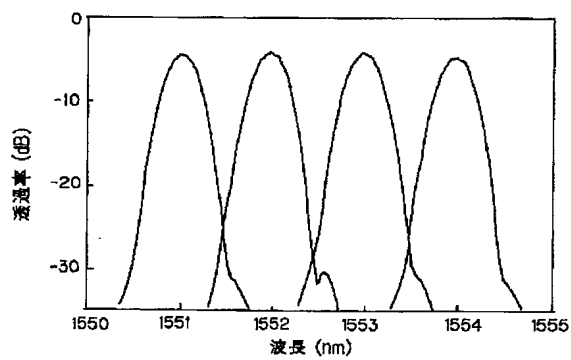
【図1】



【図2】

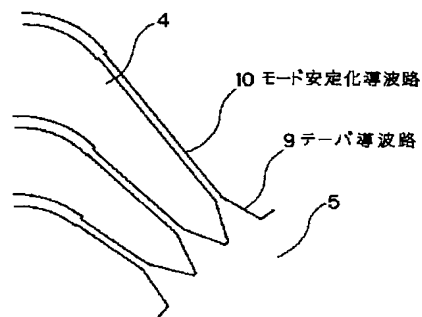


【図3】

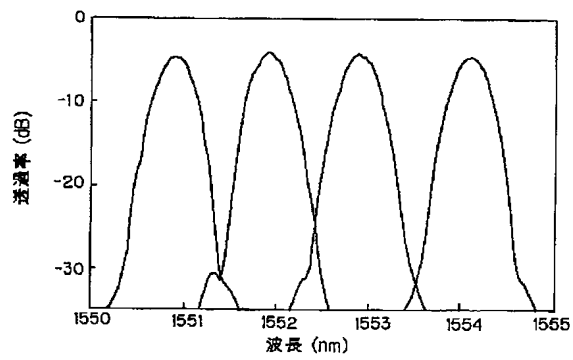


(a)

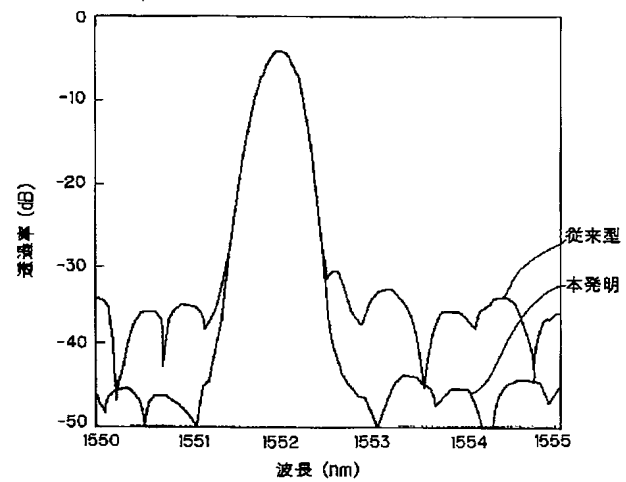
【図4】



【図5】



(b)



【図6】

